

基于 DEMATEL-AISM 的建筑业数字化 转型影响因素研究

何晓川¹, 李英攀¹, 彭波², 靳颖¹

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070, E-mail: 413279017@qq.com;

2. 中信数智(武汉)科技有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 以建筑业数字化转型为研究对象, 以武汉市为例, 在识别了武汉市建筑业数字化转型影响因素体系的基础上, 构建决策实验室分析法和对抗解释结构模型, 对建筑业数字化转型的影响因素进行分析, 对影响建筑业数字化转型的主要因素及其作用途径进行了可视化分析, 指出了建筑业数字化转型的系统因素之间的相互影响和逻辑关系, 并提出了建筑业数字化转型的对策建议, 为推动我国建筑业数字化转型提供参考。

关键词: 建筑业; 数字化; 决策实验室分析法 (DEMATEL); 对抗解释结构模型 (AISM)

中图分类号: F426.92 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859 (2022) 02-018-05 DOI:10.13991/j.cnki.jem.2022.02.004

Research on Factors Influencing the Digital Transformation of the Construction Industry Based on DEMATEL-AISM

HE Xiao-chuan¹, LI Ying-pan¹, PENG Bo², JIN Ying¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China, E-mail: 413279017@qq.com;

2. CITIC Digital Intelligence (Wuhan) Technology Co. Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: Taking the digital transformation of the construction industry as the research object and Wuhan as an example, based on the identification of the factor system influencing the digital transformation of the construction industry in Wuhan, this paper constructs the decision-making laboratory analysis method and the confrontation interpretation structure model. This paper makes a visual analysis on the main factors affecting the digital transformation of the construction industry and their action pathways. The mutual influence and logical relationship between the systematic factors of the digital transformation of the construction industry are explored. The countermeasures and suggestions for the digital transformation of the construction industry are put forward. This paper provides reference for promoting the digital transformation of the construction industry in China.

Keywords: construction industry; digitization; DEMATEL; AISM

在数字经济与“互联网+”的大浪潮之下, 当前最重要的技术趋势是数字化, 其影响将被社会的各个阶层所面对^[1]。数字化转型是促进建筑业高质量发展的重要推动力^[2]。如何利用互联网促进建筑业转型升级, 深化改革, 加强创新, 加快新旧动能转化, 已成为建筑业发展的关键之一。且随着科学

技术发展, 云计算、大数据、VR、BIM、AI 等新技术与建筑业深度融合, 加速了我国建筑业向数字化转变的进程^[3]。如何通过数字化转型实现建筑业持续优化发展是我国建筑业发展现阶段迫切需要解决的重要问题^[4]。但我国在实施建筑业数字化转型时受到了一定的影响。

目前, 针对建筑业数字化转型的研究主要集中在 BIM 等数字化技术的应用上, 李俊超^[5]发现效益不明显、投资回报期长、技术因素、操作因素、思维

收稿日期: 2022-01-12.

基金项目: 工业和信息化部建筑工业(产业)互联网创新 BIM 应用
关键技术研究项目(20211h0158).

模式因素等是 BIM 技术推广的制约因素。贾美珊^[6]研究了智慧工地建设的关键因素。国内外学者对数字化技术应用指标体系的搭建研究较多, 但对其相互影响及推广路径研究较少。任远谋^[7]采用因子分析对 BIM 在建筑业应用的制约因素进行研究, 并从示范环境制约、规则制约、软件功能制约和软件应用制约 4 个层面探索实施路径。李芮^[8]结合建筑业高质量发展体系对建筑业的数字化转型与服务创新绩效影响机制的调节效应进行探讨。王世明等^[9]认为阻碍辽宁省建筑业数字化转型的关键因素包括: 缺乏受过培训的专业人员、掌握的数字化技术不够全面、管理层数字化热情不高等。国外的学者则更多地关注数字化实施的优势。Nam Bui 等^[10]以节省成本和实现 BIM 为目的提出了一些针对中低收入经济体的 BIM 实施障碍和解决方案。Vadim Koscheyev 等^[11]分析了建筑企业数字化转型的理论途径, 揭示施工组织发生的某些转型的具体特征和问题。Meishan JIA 等^[12]研究发现跨领域人才能力、概念与价值认知、组织结构和 IT 创新能力是应优先管理的影响数字化技术在施工管理中应用的关键因素。

综上, 目前国内外对建筑业数字化转型影响因素的研究大都只停留在理论研究阶段且缺乏对影响因素之间的相互关系、作用机理的研究。本文以武汉市建筑行业数字化转型为例, 通过文献回顾及问卷调查, 将决策实验室分析 (DEMATEL) 得出的综合影响矩阵融入对抗解释结构模型 (AISM) 中, 从而构建一组具有对抗性质的有向的拓扑层级图, 对建筑业数字化转型影响因素进行分析, 可为我国其他省市识别数字化转型影响因素提供理论依据, 为推动我国建筑业数字化转型提供指导意见。

1 影响因素识别及指标体系构建

为选取武汉市建筑业数字化转型影响因素, 本文通过文献查阅的方式从 80 篇文献中识别出 25 个影响因素, 实地走访武汉市 12 家涵盖建设、设计、施工、运维的建筑业企业, 采访了企业中长期从事数字化工作的相关人员并对其进行问卷调查, 共发放 417 份调查问卷 (其中有效问卷 396 份), 为了后续模型的搭建对将 25 个因素中排名靠后的 9 个因素删去, 从而剔除掉对武汉市建筑业数字化转型影响弱的影响因素, 最终筛选出 16 个主要影响因素, 并根据影响因素的性质将其合并整理为政治、经济、认知、行业、技术等 5 个类别, 影响因素的指标体系如表 1 所示。

表 1 影响因素指标体系

层面划分	影响因素	
政策方面 A	A ₁	政策保障体系完善度
	A ₂	政策推广强制性
	A ₃	监管体系完善度
经济方面 B	B ₁	数字化转型投入产出比
	B ₂	相关参与方利益驱动性
认知方面 C	C ₁	数字化理念及认知度
	C ₂	对新技术的实施主动性
	C ₃	企业间合作分享的意识
行业方面 D	D ₁	数字化复合型人才储备
	D ₂	应用示范数量
	D ₃	各参与方组织协调度
	D ₄	企业架构对数字化发展适应性
技术方面 E	E ₁	数字化技术发展成熟度
	E ₂	数字化技术创新水平
	E ₃	不同企业部门间数据交互程度
	E ₄	统一的技术标准

2 影响因素 DEMATEL-AISM 建模

基于上述的建筑业数字化转型影响因素, 运用 DEMATEL 法通过矩阵运算得出指标间的因果关系和影响强度, 但此方法没有对结构层次和基本要素进行分类, AISM 能通过一组对抗性有向拓扑层级图得出活动因素 (在一组对抗的拓扑层级图中, 如果存在着处于不同层级的因素, 这种要素称之为活动因素)。所以在此基础上联用 DEMATEL-AISM 模型可以识别和评估复杂系统内的根源要素, 并阐明其结构层次, 其模型框架如图 1 所示。

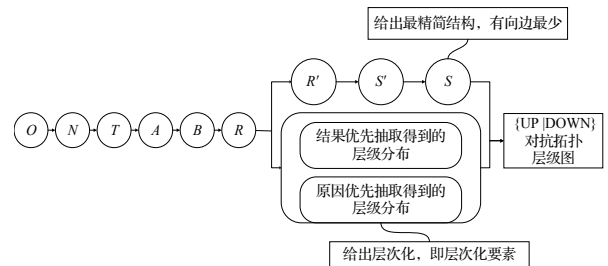


图 1 模型框架图

其中, O 为直接影响矩阵; N 为规范化影响矩阵; T 为综合影响矩阵; A 为邻接矩阵; B 为相乘矩阵; R 为可达矩阵; R' 为缩点可达矩阵; S' 为骨架矩阵; S 为一般性骨架矩阵。

2.1 构建 DEMATEL 综合影响矩阵

基于筛选出的 16 个影响因素, 通过二次问卷调查, 对其多维度指标体系中的各因素之间相互影响关系进行量化并打分, 其中调研的主要对象包括建筑领域的建设方人员、施工人员、设计人员、运维人员及高校相关科研人员。本次选择专家 14 人 (施工人员 3 人, 设计人员 3 人、设计人员 3 人、

运维人员 3 人、高校教师 2 人) 作为调研对象, 采用 0~5 标度 (0 表示无影响, 1 表示影响弱, 2 表示影响较弱, 3 表示影响一般, 4 表示影响强, 5 表示影响很强), 将专家打分表全部回收后进行汇总, 累加计算打分表中各量化影响关系的和。确定影响因素为 $S=\{S_1, S_2, \dots, S_{16}\}$ 。因素之间的相互关系、直接影响程度 S_i 与 S_j 之间的关系用 o_{ij} 表示, 即 o_{ij} 表示因素 i 对因素 j 影响的强弱, $O(o_{ij})_{16 \times 16}$ 为直接影响矩阵 O , 将直接影响矩阵 O 通过行和最大值法归一化得到规范影响矩阵 $N^{[13]}$ 。计算公式如下:

$$N = \left(\frac{o_{ij}}{\max \text{var}} \right)_{16 \times 16} \quad (1)$$

其中, $\max \text{var} = \max(\sum_{j=1}^n o_{ij})$ 。

利用已得到的规范化影响矩阵和下式得到综合影响矩阵 T , 即:

$$T = (N + N^2 + N^3 + \dots + N^k) = \sum_{k=1}^{\infty} N^k = N(1-N)^{-1} \quad (2)$$

其中, I 为单位矩阵: $(I-N)^{-1}$ 为 $(I-N)$ 的逆矩阵。

2.2 建立邻接矩阵

引入截距 λ 的概念, 本处的截距值是以矩阵 T 进行统计获得, 其中 $\lambda = \bar{x} + \sigma$, 计算基于综合影响矩阵的邻接矩阵 A :

$$\begin{cases} A_{ij} = 1, t_{ij} \geq \lambda \\ A_{ij} = 0, t_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (3)$$

其中, \bar{x} 为 T 矩阵的平均值; σ 为总体标准差。

则由 $T \xrightarrow{\lambda} A$ 得到邻接矩阵, 结果如下:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3 建立可达矩阵

对于任一邻接矩阵 A , 其可达矩阵的计算方法如下:

$$B = A + I \quad (4)$$

其中, B 为相乘矩阵; I 为单位矩阵, 即对角线全为 1 的布尔方阵。对 B 进行连乘:

$$B^{k-1} \neq B^k = B^{k+1} = R \quad (5)$$

由此得出可达矩阵 R , 结果如下:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.4 建立一般性骨架矩阵

把可达矩阵 R 中的回路看成点, 即为缩点。缩点后可以得到缩点可达矩阵 R' , 再展开收缩运算, 以去除所有重复路径, 具体方法如下:

$$S' = (R' - I)^2 - I \quad (6)$$

将回路因素代入得一般性骨架矩阵 S 。

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.5 层级抽取

对任一可达矩阵, 有可达集 R , 先行集 Q 及共同集 T , 其中 $T=R \cap Q$ 。以邻接矩阵 A 为例, e_i 的可达集记作 $R_{(e_i)}$, 即因素所在行值为 1 的所有要素^[13]。 e_i 的先行集记作 $Q_{(e_i)}$, 即因素所在列值为 1 的所有要素。 e_i 的共同集记为 $T_{(e_i)}$, 即 $R_{(e_i)} \cap Q_{(e_i)}$ 。

UP 型层级图, 即结果优先的层级划分, 其抽取规则为: $T_{(e_i)} = R_{(e_i)}$ 。只要可达集与共同集相同, 就抽取出来相关要素。每次抽取出来的要素放置在上方, 依次按照由上至下的顺序放置抽取出的要素^[13]。

DOWN 型层级图, 即原因优先的层级划分, 其抽取规则为: $T_{(e_i)} = Q_{(e_i)}$ 。每次抽取出来的要素放置在下方, 依次按照由下往上的顺序放置抽取出的要素^[13]。

按以上方法依次抽取, 结果如表 2 所示。

表 2 对抗层级抽取结果

层级	结果优先——UP 型	原因优先——DOWN 型
第 0 层	$A_2, D_3, D_4, E_2, E_3, E_4$	E_4
第 1 层	C_1	C_1
第 2 层	A_3, C_2, C_3, C_4	C_2
第 3 层	B_2	A_3, B_2, D_2, D_3, E_3
第 4 层	B_1, D_1, E_1	B_1, C_3, D_2, E_1
第 5 层	A_1	A_1, A_2, D_1, E_2

2.6 绘制拓扑层级图

根据各种因素间的关联与抽取结果, 绘制有向拓扑层级的示意图, 使用带向线段表示武汉市建筑业数字化转型中影响因素的可达性关系, 在矩形框内表示形成回路, 即互为可达关系, 同时越下层的影响因素更具有根源性, 而越上层的影响因素则更具直接性。UP 型、DOWN 型的有向拓扑层级图如图 2 所示。该图是基于综合影响矩阵 T 依据截距 λ 得出邻接矩阵 A , 接着依照一系列的拓扑运算得出。

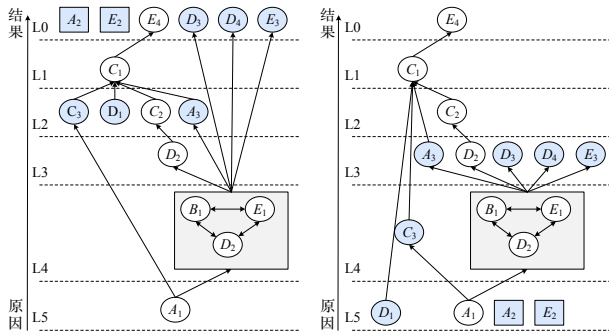


图 2 UP 型(左)和 DOWN 型(右)有向拓扑层级图

3 分析结果及建议

3.1 结果分析

(1) 孤立因素分析。拓扑图中用矩形框标注的因素 A_2, E_2 为孤立因素。从拓扑图中可以看到, 没有有向线段从其他因素指向 A_2 与 E_2 , A_2 与 E_2 也没有发出有向线段指向其他要素, 即两因素对其他因素不产生影响与被影响的关系。从综合影响矩阵 T 的角度考察, A_2 与 E_2 对应的行与列, 其值都要小于 λ 值。由上述对抗图可知, A_2, E_2 同系统其他因素的相互影响是最弱的, 影响作用是最小的两个因素。

(2) 整个系统为可拓变的系统。含有活动因素的系统称之为活动系统; 不含活动因素的系统称之为刚性系统, 也叫拓扑刚性系统。在图 2 得到的系统中深色标注的因素即为活动因素, 故该系统为可拓变系统。以 D_1 为例, 它是在 L5 到 L1 之间跃迁。

(3) 回路分析。回路又叫强连通。在对抗层级拓扑图中存在着回路, 即 B_1, D_2, E_1 这 3 个要素互为因果, 即这 3 个紧密相关的要素可以划分到一个子系统当中。

(4) 层级分析与因果全系列分析。系统为 6 个层级的拓扑结构, 有向线段是原因要素指向结果因素。去除孤立因素后, 其因果全系列如表 3 所示。两个因果全系列并不一致, 这也是活动系统的特征, 其中 $[B_1, D_1, E_1]$ 为回路要素。

表 3 因果全系列表

UP	$\{D_2, D_3, E_3, E_4\} > \{C_1\} > \{A_3, C_2, C_3, C_4\} > \{B_2\} > \{[B_1, D_1, E_1]\} > \{A_1\}$
DOWN	$\{E_4\} > \{C_1\} > \{C_2\} > \{A_3, B_2, D_2, D_3, E_3\} > \{C_3, [B_1, D_1, E_1]\} > \{A_1, C_4\}$

(5) 根本层因素、结果层因素、中间层因素分析。首先去除掉孤立因素 A_2, E_2 , 现有层级关系, 将系统归为根源层、中间层、结果层。

根源层的因素具有如下特征, 即对其他因素发生影响, 处于最下层级。从拓扑图上看, 它只发出有向线段。因此图中去掉孤立因素的最下层因素求并集即为根源层因素, $\{A_1\} \cup \{A_1, D_1\} = \{A_1, D_1\}$, 即根源层的因素集包括 A_1, D_1 , 位于系统的最高层级, 可以直接或间接地影响系统内的其他因素。根源因素在系统中处于主导地位, 其对建筑业数字化转型影响最为重要。

结果层因素具有如下特征, 对其他要素发生影响, 其他因素对其发生影响, 处于最上层级。因此图中剔除孤立因素的最上层因素求并集即为结果因素 $\{D_3, D_4, E_3, E_4\} \cup \{E_4\} = \{D_3, D_4, E_3, E_4\}$ 。这四类要素是武汉市建筑业数字化转型的最直接影响因素, 作为原因因素, 直接影响数字化转型效果, 其他因素需要通过结果因素层来影响整个系统, 进而提高转型的效果。

中间层因素集, 发送向上的箭头来影响上层因素。本系统内中间层因素较多, 这个因素集跨越了 6 个层次, 共有 8 个因素。中间层因素集包括 $A_3, B_1, B_2, C_1, C_2, C_3, D_2, E_1$, 这 8 类因素是武汉市建筑业数字化转型的核心, 处于整个系统递进阶段的中间位置, 受到根源层的影响, 起到承上启下的呈递枢纽作用, 在建筑业数字化转型过程中需要优先考虑。

3.2 措施与建议

(1) 加强政策引导, 在对标学习国内外先进城市经验做法的基础上, 以覆盖全业态、全产业链各环节为原则, 进一步研究制定和出台新政策, 建立起强制性、激励性与示范性措施并举的政策体系, 全面提升建筑业企业主动进行数字化转型的积极性。加强财政补贴力度, 引导企业加大对数字化技术应用研究专项资金的投入及推进企业数字化转型升级。现有的产业支持政策应更多地关注数字化领域, 加大对智能建筑关键技术应用研究和核心软硬件开发的扶持力度。鼓励开发建筑产业互联网系统, 并进行项目应用示范^[14]。经认定并取得高新技术企业资质的智能建筑业企业, 可以按照规定享

受财政补贴和减税、免税，以努力提升建筑业的创新能力和水平。对于采用数字化技术的项目，可在申报奖励时加分等。

(2) 优化人才结构，加强建筑业数字化人才体系建设应发挥高校资源优势，在城建科技和创新团队方面培育更多世界一流领导者，打造科研创新中心，汇集国内外建筑数字化领域的优秀人才。引导企业在数字化人才的培养、利用、引进和分配方面建立长期有效的激励机制。扩大智能建造与建筑信息技术在高校扩招中的应用，全面培养掌握数字化技术的建筑业复合型人才。充分挖掘利用现有的专业教育资源，采用校企结合的课堂教学方式，加强公司现有员工的再培训，并以重点项目为依托，积极开展智能建造技术研发和实践，为人才的快速成长提供实践平台，在实践中培养与锻炼人才。同时在数字时代要加快培育建筑业工人队伍，提高建筑工人的智能建造技能，引导企业培养适应数字化内涵要求的新型建筑工人。

(3) 加强推广宣传，建立政府、新闻媒体、企业、行业协会、高校、公众的“六位一体”的联合宣传培训机制，定期开展数字化建设的政策宣传、技术指导、交流合作、成果推广。向社会引进优质、诚信、可靠的技术、产品和企业，强化行业交流与合作。建立新型工业化和智能建造建筑体验中心和展览馆，让社会大众亲身体验建筑工业化和智能化产品带来的建筑品质和人居环境的提升，提高居民对发展新型工业化和智能建造的认知度和认可度。构建跨区域交流合作机制，为建筑业数字化转型的健康发展营造良好环境^[15]。

4 结语

本文以武汉市为例，从影响建筑业数字化转型的政治因素、经济因素、认知因素、行业因素、技术因素等 5 个层面出发，识别出 16 个影响因素，结合决策实验室分析 (DEMATEL) 和对抗解释结构模型 (AISM) 方法构建组合模型，挖掘出了关键影响因素，并提出加强政策引导、优化人才结构和加强推广宣传的政策建议，为我国建筑业数字化转型的可持续发展提供理论支持。同时，与传统的 ISM 模型相比，DEMATEL-ASIM 模型能够显示完整的对抗抽取层级图，这一点更具说服力。然而，由于样本收集有限，本次问卷仅限于武汉市，随着建筑业数字化转型的不断深入，准确性还有待进一步提高，以实现对我国建筑业数字化转型影响因素

的更深研究。

参考文献:

- [1] Leviakangas P, Mok Paik S, Moon S. Keeping up with the pace of digitization: the case of the Australian construction industry[J]. *Technology in Society*, 2017, 50: 33-43.
- [2] 陈凡, 蒋国佼. 建企数字化转型难点及措施[J]. *施工企业管理*, 2021(6): 51-53.
- [3] 袁正刚. 建筑企业数字化转型任重道远[J]. *中国勘察设计*, 2018(8): 36-38.
- [4] 陈珂, 杜鹏, 方伟立, 等. 我国建筑业数字化转型: 内涵、参与主体和政策工具[J]. *土木工程与管理学报*, 2021, 38(4): 23-29.
- [5] 李俊超. BIM 技术扩散的阻碍研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2014.
- [6] 贾美珊. 智慧工地建设影响因素分析及改进建议研究[D]. 山东建筑大学, 2020.
- [7] 任远谋. BIM 在我国建筑行业应用影响因素研究[D]. 重庆大学, 2016.
- [8] 李芮. BIM 驱动的建筑业企业数字化转型与服务创新绩效影响机制[D]. 长安大学, 2020.
- [9] 王世明, 李彩云. 建筑行业数字化转型研究[J]. *科技创业月刊*, 2019, 32(10): 29-32.
- [10] Bui N, Merschbrock C, Munkvold B E. A review of building information modelling for construction in developing countries[J]. *Procedia Engineering*, 2016, 164: 487-494.
- [11] Koscheyev V, Rapgof V, Vinogradova V. Digital transformation of construction organizations[J]. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 2019, 497(1): 12010.
- [12] Jia M, Xu Y, He P, et al. Identifying critical factors that affect the application of information technology in construction management: a case study of China[J]. *Frontiers of Engineering Management*, 2020.
- [13] 倪标, 黄伟. 基于对抗解释结构模型的军事训练方法可推广性评价模型[J]. *军事运筹与系统工程*, 2020, 34(2): 46-51.
- [14] 由瑞凯, 赵璐, 刘婉平. 建筑企业数字化转型策略与实践[J]. *建筑经济*, 2021, 42(8): 10-14.
- [15] Koseoglu O, Keskin B, Ozorhon B. Challenges and enablers in bim-enabled digital transformation in mega projects: the istanbul new airport project case study[J]. *Buildings*, 2019, 9(5): 115.

作者简介:

何晓川 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 工程管理;

李英攀 (1978-), 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 工程管理;

彭波 (1976-), 男, 正高级工程师, 研究方向: 建筑信息化;

靳颖 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 工程管理。